

АЗОТИРОВАНИЕ СПЛАВЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ТВЕРДОГО СПЛАВА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОМПРЕССИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ

А.К. Кулешов¹⁾, Н.Н. Черенда¹⁾, Е.А. Крутилина¹⁾, В.М. Асташинский²⁾,
В.М. Анищик¹⁾, М. Опеляк³⁾, Ч. Карват³⁾

¹⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости, 4, Минск, 220030, Беларусь, uglov@bsu.by

²⁾Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН РБ
ул. П. Бровки, 15, Минск, 220072, Беларусь, ast@hmti.ac.by

³⁾Люблинский технический университет, Люблин, Польша

Исследовано накопление азота в поверхностных слоях твердого сплава под воздействием компрессионных плазменных потоков. Параметры воздействия были следующими: плотность энергии 34 и 41 Дж/см², давление азота в камере 3 и 30 Торр. Установлено, что для твердого сплава накопление азота происходит в слое 0.2 мкм, выявленная наибольшая средняя концентрация в этом слое азота составляет 10 ат.%. Для системы покрытие из Zr на твердом сплаве наибольшая средняя концентрация азота в слое 0.2 мкм составляет 25 ат.%.

Введение

Модификация свойств инструмента из твердых сплавов воздействием концентрированных потоков энергии (ионных, электронных, лазерных) основано на плавлении и кристаллизации поверхностного слоя со сверхкритическими скоростями охлаждения (10^4 – 10^7 К/с) [1–3]. Механические свойства таких модифицированных слоев твердых сплавов значительно улучшаются. В отличие от других видов концентрированных потоков энергии воздействие компрессионными плазменными потоками (КПП) обеспечивает более однородное распределение элементов в расплавленном слое, что связано как с конвективным, так и с гидродинамическим перемешиванием этого слоя [3]. Перспективность применения импульсных КПП субмиллисекундной длительности связана не только с возможностью дополнительного легирования твердого сплава металлами, предварительно нанесенными на поверхность, но и диффузионного насыщения плазмообразующим газом расплавленного слоя и формированием при кристаллизации дополнительных упрочняющих нитридных фаз.

Целью данной работы было исследование влияния обработки КПП при нескольких значениях плотности падающей энергии и давления азота, а также количества импульсов на накопления азотом модифицированных сплавленных слоев. Предполагалось, что при выбранных режимах воздействия КПП можно будет реализовать возможность создания сплавленных слоев карбидов сплава, легированных как цирконием, так и азотом.

Методика эксперимента

Объектом исследований являлся твердый сплав Т15К6 (WC-15TiC-6Co, вес.%), в том числе и с покрытием из Zr. Покрытие формировалось методом конденсации вещества из плазменной фазы в условиях ионной бомбардировки (КИБ) с использованием плазменных потоков циркония. Толщина покрытия составляла ~ 2 мкм.

Исследуемые образцы твердого сплава в виде четырехгранных пластинок имели размеры

10х10х4 мм. Их обработку КПП проводили одним или пятью импульсами в газоразрядном магнито-плазменном компрессоре (МПК) компактной геометрии [4]. МПК работал в режиме «остаточного газа», при котором предварительно откачанная вакуумная камера заполнялась азотом до давления в 3 и 10 Торр. Длительность разряда составляла 100 мкс. Варьируемым параметром обработки являлось напряжение на конденсаторной батарее, составляющее 3.5 и 4 кВ. При давлении азота в камере 3 Торр были проведены калориметрические измерения на образцах твердых сплавов при используемых режимах напряжения 3.5 и 4 кВ. Это позволило оценить плотности падающей энергии на образец ~ 34 и 41 Дж/см².

Концентрационные распределения элементов по глубине поверхностных слоев, модифицированных плазменными потоками, проводилось с помощью оже-электронной спектроскопии (ОЭС) на спектрометре PHI-660 при пошаговом распылении поверхности образца ионами аргона с энергией 3 кэВ, при этом средняя скорость распыления мишени составляла ~ 0.2 мкм/мин. Количественное определение концентрации элементов сплава в поверхностном слое в зависимости от времени распыления осуществлялось на основе метода чистых стандартов [5] с использованием регистрации интенсивности спектральных линий KLL азота, LMM титана и LMV титана как из исследуемых, так и эталонных образцов.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Как показали исследования фазового состава модифицированных слоев твердого сплава [1–3], воздействие КПП на твердый сплав в интервале плотностей энергий 34–41 Дж/см² приводит к формированию в сплавленном слое фаз (W, Ti)C и WN, а на систему циркониевое покрытие – твердый сплав - карбидных и нитридных фаз, содержащих цирконий: (Ti, Zr, W)C и ZrN.

Согласно полученным данным ОЭС в результате воздействия КПП с указанными выше параметрами накопление азота происходит преимущественно в тонком поверхностном слое, глубина

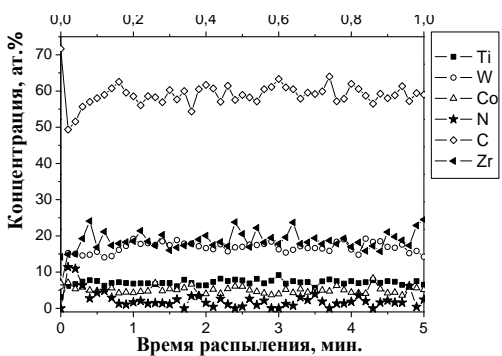
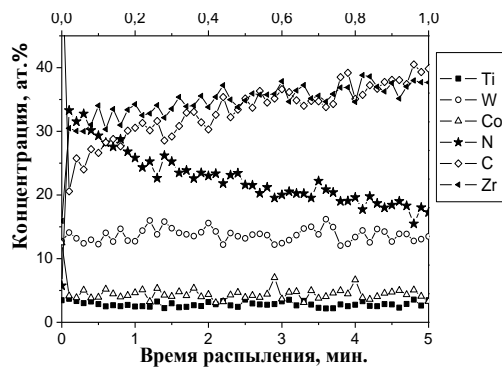
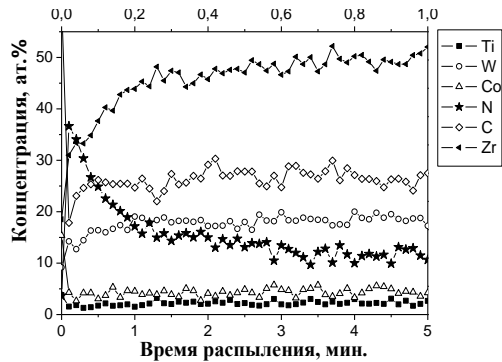
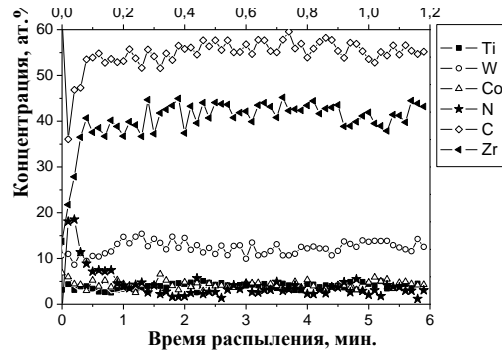


Рис. 1. Концентрационные профили распределения элементов по глубине в образцах твердого сплава T15K6 после воздействия 5 импульсами КПП с плотностью энергии 34 Дж/см² (а), а также сплава с покрытием Zr, обработанных при давлении азота 10 Торр со следующими параметрами: (б) – 34 Дж/см², 1 импульс; (в) – 34 Дж/см², 5 импульсов, (г) – 41 Дж/см², 5 импульсов.

которого составляет ~ 0.2 мкм. Средняя концентрация азота в анализируемом слое слабо меняется при варьировании параметров обработки и находится в пределах 10 ат.%. Типичный концентрационный профиль распределения элементов в модифицированном КПП поверхностном слое твердого сплава показан на рис. 1а.

При воздействии КПП с плотностью энергии 34 Дж/см² на систему циркониевое покрытие – твердый сплав поверхностный сплавленный слой насыщается азотом до концентрации ~ 35 ат.%. (рис. 1б). На глубине 0.1 мкм концентрация азота уменьшается до 20 ат.%. Увеличение количества импульсов не меняет концентрацию азота у поверхности. Резкого уменьшения концентрация азота (25 ат. %) на глубине 0.1 мкм, не происходит по сравнению с действием 1 импульса (рис. 1б, в). Интегральная оценка суммарной концентрации азота в анализируемом слое (1 мкм) показывает увеличение суммарной концентрации азота в 1.5 раза в случае воздействия 5 импульсами.

Рост плотности энергии при постоянном количестве импульсов воздействия значительно уменьшает (приблизительно в 10 раз) суммарное содержание азота в слое 1 мкм (рис. 1г). По нашему мнению, наблюдаемое увеличение суммарной концентрации азота при плотности энергии воздействия в 34 Дж/см² с ростом количества импульсов КПП связано соответственно с суммарным увеличением времени проникновения азота и его последующей диффузии в слой Zr на твердом сплаве. Из литературных данных [7] следует, что насыщение азотом металлических слоев титана при воздействии КПП в среде азота обеспечивается в большей мере твердофазной диффузией азота в остывающем после кристаллизации титане. Это связано, по оценкам авторов, с очень малым временем существования расплава (менее 10⁻⁴ с) в сравнении со временем остывания твердой фазы до комнатных температур (6*10⁻² с). Коэффициенты диффузии азота в цирконии и титане подобны. Оценка времени остывания поверхностного слоя твердого сплава до температуры 800 °С, проведенная на основе решения уравнения теплопроводности, дает значение 10⁻² с. Исходя из вышесказанного, предполагается, что и для системы цирконий – твердый сплав накопление азота в поверхностных слоях происходит в основном в результате его твердофазной диффузии. Наблюдаемое уменьшение концентрации азота при увеличении плотности энергии до 41 Дж/см² (рис. 1 г), по-видимому, связано с интенсификацией испарения поверхностных слоев, удержанием пара давлением плазменного потока и формированием ударно-сжатого слоя плазмы [7] у поверхности. Этот слой является барьером, препятствующим проникновению азота к поверхности материала.

Заключение

Установлено, что в результате обработки КПП твердого сплава накопление азота происходит преимущественно в тонком поверхностном слое, глубина которого составляет ~ 0.2 мкм. Концентрация азота в анализируемом слое слабо меняется при варьировании параметров обработки и

среднее по глубине значение составляет 10 ат. %.

Особенностью распределения азота в поверхностном слое системы Zr/твердый сплав является увеличение средней концентрации азота в сравнении с твердым сплавом без покрытия, а также с ростом количества импульсов до 25 ат. % при плотности энергии воздействия КПП 34 Дж/см² и давлении азота 10 Торр.

Список литературы

- 1 Кулешов А.К., Крутилина Е.А., Кузьмицкий А.М., Комста Х., Данилович Ю.А. // Материалы X Международной конференции «Взаимодействие излучений с твердым телом» 24-27 сентября 2013 г., Минск, с. 309-312.
- 2 Uglov V.V., Anishchik V.M., Astashinski V.M., Cherenda N.N., Gimro L.G., Kovyaza A.V. // Surface and Coatings Technology. 2005. V. 200. P. 245-249.
- 3 Koval N.N., Ivanov Yu.F., Ovcharenko V.E., Kolubaeva Yu.A., Grigoryev S.V., Teresov A.D. // IEEE transactions on Plasma Science. 2009. V. 37. № 10. P. 1998-2001.
- 4 Uglov V.V., Remnev G.E., Kuleshov A.K., Astashinski V.M., Saltymakov M.S. // Surf. and Coat. Technol. 2010, V. 206. P. 781-784.
- 5 Асташинский, В.М. Г.И. Баканович, Л.Я. Минько // Физика плазмы. 1984. Т. 10. № 5. С. 1058-1063.
- 6 Holloway P.H. // Surf. Sci. 1977. V. 66. P. 479-494.
- 7 Углов В. В., Кулешов А. К., Крутилина Е. А., Асташинский В. М., Кузьмицкий А. М. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2013. № 4. С. 81-88.
- 8 Cherenda N.N., Shymanski V.I., Uglov V.V., Astashynski V.M., Ukhov V.A. // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2012. V. 6. P. 319-325.

THE NITROGEN ACCUMULATION IN MELTED SURFACE LAYERS OF HARD ALLOY TREATED BY COMPRESSION PLASMA FLOWS

A.K. Kuleschov¹, N.N. Cherenda¹, E.A. Krutisilina¹, V.M. Astashinski², V.M. Anischik¹, M. Opielak³, C. Karwat³

¹Belarusian State University

4 Nezavisimosti av., Minsk, 220030, Belarus, uglov@bsu.by

²A.V. Luikov heat and mass transfer Institute of Belarus National Academy of Sciences,

15 P. Brovkiy str., Minsk, 220072, Belarus, ast@hmti.ac.by

³Lublin University of Technology, Lublin, Poland

In this work the nitrogen accumulation in surface layer of hard alloy and Zr/hard alloy system after CPF treatment was investigated. The treated parameters were following: energy density of 34 and 41 J/cm² in nitrogen atmosphere 3 and 10 Torr. It was found that the nitrogen accumulation in hard alloy takes place in about 0,2 μm surface layer and the greatest revealed mean nitrogen concentration in this layer was about 10 ат. %. The greatest mean nitrogen concentration in 0.2 μm layer for treated Zr/hard alloy system was about 25 ат. % and was obtained for 30 Torr nitrogen pressure in camera.

КАСКАДНО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОХОЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО. СВЯЗЬ С ЦЕПЯМИ МАРКОВА, УРАВНЕНИЯМИ ТИПА БОЛЬЦМАНА

А.И. Купчишин^{1, 2)}

¹⁾Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
пр. аль-Фараби, 71, Алматы, 050040, Казахстан

²⁾Казахский национальный педагогический университет им. Абая,
Алматы, Казахстан, ankupchishin@mail.ru

Предложен новый (каскадно-вероятностный) метод (КВМ) моделирования прохождения частиц через вещество. Установлена его связь с уравнениями Колмогорова-Чэпмена, Больцмана, цепями Маркова, распределениями Пуассона, Максвелла, Пойа, гипергеометрического отрицательного биномиального распределения и др. В рамках КВМ приведено общее решение уравнения каскадного процесса.

Введение

В связи с интенсивным развитием ядерной энергетики, исследованиями различных физических процессов в околоземном космическом пространстве, в частности, в радиационных поясах Земли, изучение влияния электронного, гамма, нуклонного и ядерного облучения на свойства материалов в последние годы стало одним из самых актуальных направлений в физике твердого тела и вылилось в самостоятельное направление - "Радиационную

физику твердого тела". В результате бомбардировки твердых тел заряженными частицами, например, электронами, протонами и ядрами, по пути их движения генерируются не только легкие вторичные частицы типа электронов (когда энергия теряется в основном на ионизацию атомов), но и тяжелые атомы и ионы среды, являющиеся родоначальниками атом-атомных каскадов. Нейтроны, взаимодействуя с веществом, также образуют первично-выбитые атомы (ПВА). Однако ввиду их